



# Impact des conditions météorologiques locales sur la variabilité spatiale de l'ozone à échelle fine à Nice

Nicolas Martin, Christophe Yohia

## ► To cite this version:

Nicolas Martin, Christophe Yohia. Impact des conditions météorologiques locales sur la variabilité spatiale de l'ozone à échelle fine à Nice. XXIIe colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Sep 2009, Cluj, Roumanie. hal-00419432v2

**HAL Id: hal-00419432**

**<https://hal.science/hal-00419432v2>**

Submitted on 18 Mar 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## IMPACT DES CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES LOCALES SUR LA VARIABILITÉ SPATIALE DE L'OZONE À ÉCHELLE FINE A NICE

N. MARTIN (1), Y. CHRISTOPHE (2)

Université de Nice-Sophia Antipolis, Equipe G.V.E de l'UMR Espace 6012 du CNRS,  
98 Bd E. Herriot, 06204 Nice cedex 3, France.

(1) : nicolas.martin@unice.fr (2) : christophe.yohia@unice.fr

**Résumé:** La ville de Nice est fortement concernée chaque été par la pollution par l'ozone. Grâce à de très nombreuses campagnes de mesures d'avril à septembre 2007 dans l'agglomération niçoise, la variabilité spatiale de l'ozone a été appréhendée à fine échelle spatiale. La configuration spatiale moyenne de ce polluant secondaire identifie un littoral et des espaces périurbains caractérisés par de plus fortes concentrations que le reste des espaces sondés. Outre l'impact des émissions diffuses de polluants primaires par la circulation automobile dans ce milieu urbain et périurbain, les conditions météorologiques locales régissent également la répartition spatiale de l'ozone. Dans quelle mesure la variabilité spatiale de certaines variables météorologiques influencent-elles la configuration spatiale moyenne de l'ozone ? Le recours au modèle déterministe RAMS (Regional Atmospheric Modelling System) fournit des simulations numériques à fine échelle permettant de répondre à cette interrogation.

**Mots clés:** mesures itinérantes d'ozone, échelle spatiale fine, simulations météorologiques, configuration spatiale, hauteur de couche limite atmosphérique.

**Abstract:** Weather conditions impact on the local spatial ozone variability to fine scale in Nice. The city of Nice is strongly affected each summer by ozone pollution. Thanks to many measurement campaigns from April to September 2007 in Nice, the ozone spatial variability was apprehended at fine spatial scale. The secondary pollutant spatial average offers a coastal and suburban areas characterized by higher concentrations than the rest of the surveyed areas. Apart from the impact of primary pollutants fugitive emissions by the motor traffic in urban and suburban, local weather conditions also govern the spatial ozone distribution. To what extent the spatial variability of certain meteorological variables influence the ozone spatial average ? The use of deterministic model RAMS (Regional Atmospheric Modelling System) provide numerical simulations to fine scale to answer this question.

**Keywords:** ozone itinerant measures, fine spatial scale, meteorological simulations, spatial configuration, planetary boundary layer height.

La région niçoise est régulièrement affectée au cours de l'été par des épisodes de pollution photochimique. Le trafic automobile, notamment, émet des gaz précurseurs, qui produisent alors de l'ozone sous l'influence du rayonnement solaire ultra-violet. A macro-échelle la configuration synoptique anticyclonique permet à un régime local de brises thermiques de s'exprimer dans cet espace littoral montagneux. Ce schéma de ventilation favorise l'accumulation des polluants atmosphériques primaires et secondaires au fil des jours quand la situation synoptique perdure.

La forte réactivité chimique de l'ozone est à la source de sa grande variabilité spatiale. Afin de mieux caractériser cette dernière, le réseau de mesures ponctuelles dans l'espace d'AtmoPaca (association agréée à la surveillance de la qualité de l'air dans la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur) n'est pas suffisant. Des analyseurs d'ozone portables, fonctionnant sur le principe de l'absorption d'UV, sont alors utilisés. Des campagnes de mesures récurrentes ont été effectuées durant la saison photochimique 2007 sur le même parcours dans l'agglomération niçoise: plus de 85 jours de mesures ont permis de construire une base de données novatrice sur la variabilité spatiale de l'ozone. Celle-ci est confrontée aux variables météorologiques afin de comprendre la configuration spatiale moyenne de ce polluant secondaire dans l'extrême sud des Alpes-Maritimes.

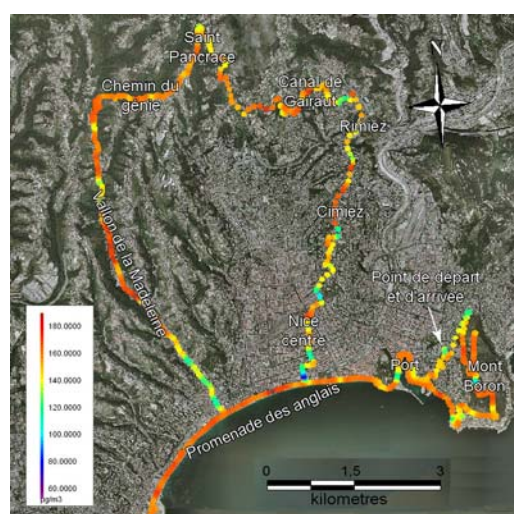
## 1. Configuration spatiale moyenne de l'ozone à Nice.

### 1.1. Protocole expérimental.

L'objectif est de capturer la variabilité spatiale et non temporelle de l'ozone. Or la stabilité temporelle des concentrations au cours de l'après-midi, définie comme le niveau d'équilibre diurne d'ozone, ne dure que quelques heures. Dans la station de Nice Botanique, la plus proche, avec celle de Nice Aéroport, du parcours suivi lors des campagnes de mesures à Nice, les concentrations d'ozone sont stables durant trois à quatre heures en moyenne. Entre 12h et 16h les valeurs d'ozone ne varient presque pas. Les mesures doivent donc être réalisées dans un temps inférieur. Des tests effectués en septembre 2006 ont permis d'établir pour la saison photochimique 2007 le parcours emprunté et le mode de déplacement choisi. L'itinéraire est parcouru en vélo, avec l'analyseur placé dans un panier fixé au cintre (figure 1), pour conserver une plus grande fluidité dans les déplacements sur les axes très fréquentés, afin d'emprunter le canal de Gairaut (chemin de randonnée) et surtout dans le but de se déplacer sur la piste cyclable de la promenade des anglais parfaitement exposée au flux de brise de mer non perturbé par les émissions du trafic routier. Le déplacement en vélo apporte de multiples avantages que la voiture n'offre pas (Martin, 2008).



**Figure 1** Mode de transport et dispositif de mesure

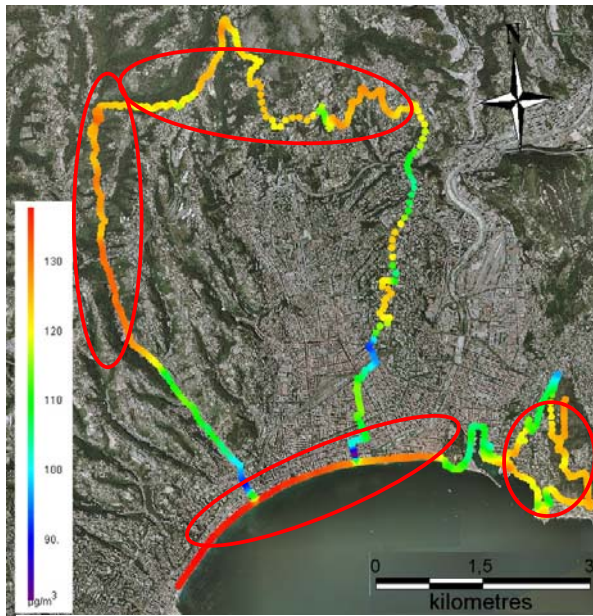


**Figure 2** Parcours emprunté pour les 85 campagnes de mesures d'avril à septembre 2007. Exemple du 22 avril 2007.

Le parcours est le même pour l'ensemble des journées de mesures afin de disposer d'une base de données exploitables pour des traitements ultérieurs (fig. 2). Il convient d'éviter les canyons urbains, à forte circulation, synonymes de fortes émissions de polluants primaires piégeant l'ozone, et de favoriser les axes bien ventilés faiblement fréquentés par les véhicules motorisés. Le parcours déterminé (45 km) a été emprunté 85 fois au cours de la saison photochimique 2007. La durée moyenne du trajet est d'un peu plus de deux heures. Une mesure d'ozone étant enregistrée toutes les 10 secondes, ce sont 765 concentrations d'ozone qui sont géo référencées par GPS pour chaque campagne de mesures. La difficulté principale de ce travail est d'appréhender au mieux la période de stabilité des concentrations d'ozone au cours de l'après-midi. La qualité des mesures, et donc la validité des traitements effectués par la suite, en découlent.

### 1.2. Résultats des mesures itinérantes d'ozone.

La matrice de concentrations d'ozone construite après l'ensemble des mesures terrain propose une base de données assez novatrice dans le sens où jamais encore une telle expérience n'avait été menée. Outre la possibilité de calculer la valeur moyenne rencontrée au cours de chaque jour, supprimant ainsi l'information spatiale, il est plus logique d'établir la moyenne des concentrations d'ozone par point du parcours suivi. La cartographie des résultats fait apparaître les disparités spatiales (fig. 3). En moyenne le littoral est le plus exposé à la pollution par l'ozone : les concentrations s'élèvent à  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les



**Figure 3.** Configuration spatiale moyenne de la pollution par l'ozone à Nice au cours des mesures itinérantes d'avril à septembre 2007.

70 jours de mesures (15 ont été éliminés en raison d'une variabilité temporelle de l'ozone durant les mesures). Les collines périurbaines rencontrent aussi des valeurs moyennes élevées, de l'ordre de  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (au nord, à l'ouest et dans l'extrême sud-est de la figure 3). Enfin des niveaux plus faibles concernent le centre ville et de manière générale les axes à fort trafic routier ; les concentrations d'ozone chutent même aux points nodaux de circulation et dans les rues canyon. Par ailleurs le port de Nice connaît aussi des niveaux plutôt faibles ; en effet la présence de ferries rejetant une grande quantité de polluants primaires piège l'ozone. Cet aspect moyen propose un aperçu de la grande variabilité spatiale de ce polluant : les variations sont parfois brutales selon l'influence de tel ou tel facteur (exposition à la brise de mer, proximité d'une source de pollution primaire, intensité de la ventilation et du renouvellement de l'air). Les plus forts écarts-type se rencontrent au port de Nice ; la raison est la présence non

systématique des ferries en fonction des jours et des heures de passage. Ainsi quelque soit le niveau d'équilibre de la journée, leur présence fait considérablement chuter les concentrations (jusqu'à  $20\text{-}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De même des écarts-type élevés concernent le mont Boron : la cause est identique à celle du port de Nice ; des bateaux de croisière stationnant dans la rade de Villefranche/mer émettent des panaches de fumée qui détruisent une grande part d'ozone lorsque le vent les advecte sur cette colline.

Le fait majeur découlant des observations est la présence de fortes concentrations d'ozone sur le littoral, supérieures aux valeurs relevées dans les zones périurbaines situées à l'écart des émissions de monoxyde d'azote; comment expliquer ce phénomène? La pollution de l'air est étroitement liée aux évolutions météorologiques. Pour croiser les données météorologiques et les mesures d'ozone il est nécessaire de prendre appui sur des types d'espaces précis. En effet les concentrations d'ozone sont la conséquence de l'influence cumulée d'une multitude de facteurs. Sans avoir la prétention et les capacités de vouloir isoler tel ou tel facteur, il est plus juste, afin d'établir des relations avec des variables météorologiques, de ne prendre en compte que les espaces susceptibles de ne pas être sous le joug des émissions de polluants primaires. Autrement dit, l'intérêt doit se porter sur les portions du parcours les plus exposées à l'ozone (entourés par un cercle sur la figure 3). Ne disposant pas de données météorologiques mesurées à une échelle comparable (seules quelques stations météorologiques jouxtent le parcours de mesures), il a été nécessaire de recourir à des simulations numériques du temps afin de pouvoir établir une comparaison entre la variabilité spatiale de l'ozone et celle des variables météorologiques.

## 2. Relations spatiales entre les variables météorologiques modélisées et l'ozone mesuré.

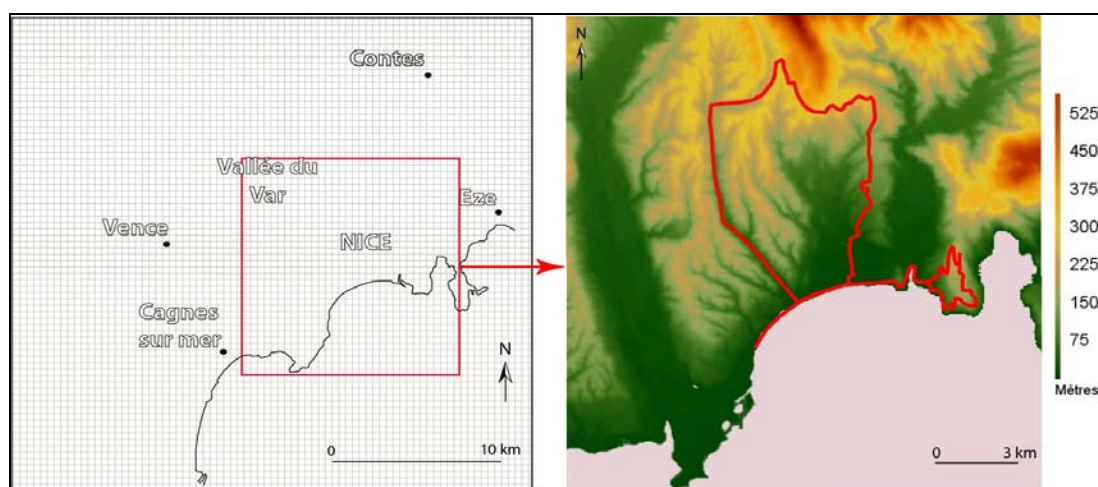
### 2.1. Le modèle météorologique RAMS.

Parmi les quelques modèles de simulation numérique destinés à la méso-échelle, le modèle RAMS présente de nombreux avantages, notamment en terme de précision topographique. La résolution du modèle numérique de terrain (M.N.T.) en entrée peut en effet atteindre les 100 m. Par conséquent le calcul des champs météorologiques en aval s'effectue à une résolution de 500 m. L'intérêt d'une telle précision dans un espace littoral montagneux à topographie complexe a favorisé le choix du modèle RAMS. Le modèle RAMS est un modèle à aire limitée, non hydrostatique ou hydrostatique, en coordonnées sigma permettant de simuler la circulation atmosphérique à méso-échelle. Utilisé dans une configuration non hydrostatique étant donné la petite superficie d'étude, les fondements physiques



de RAMS sont les équations du mouvement, de la thermodynamique, de la conservation de la masse et de la conservation du rapport de mélange spécifique saturant. Ce type de modèle, prenant en compte un maximum de processus intégrés au système climatique, est composé de plusieurs modules, chacun de ceux-ci proposant diverses options de paramétrisation (schéma de couche limite atmosphérique, de radiation et de convection, conditions aux limites etc.). Trois types de données alimentent le modèle, des données météorologiques (réanalyse du NCEP), des données relatives à la topographie (M.N.T. à 100 m de résolution) et enfin des données détaillant les propriétés de surface (récoltées auprès de l'USGS).

Le but étant de disposer de plus d'informations sur les conditions météorologiques au cours des campagnes de mesures itinérantes d'ozone, les modélisations ont été effectuées pour les 70 jours concernés. Les sorties de modèles sont disponibles pour les 24 heures de chaque journée pour 29 niveaux sigma et pour 25 variables météorologiques (l'ensemble de ces variables n'est pas modélisé pour toutes les couches sigma). La fenêtre d'étude s'étend de 7 à 7.4° de longitude est et de 43.59 à 43.85° de latitude nord. La résolution proposée par le modèle offre 82 points de grille d'ouest en est et 59 points de grille du nord au sud. Le domaine est centré sur la vallée du Var et comprend des surfaces terrestres et maritimes afin de prendre en compte l'interface terre-mer où la variabilité spatiale de l'ozone semble forte. Ainsi le sud de la grille permettra, le cas échéant, de mettre en évidence les caractéristiques du flux en provenance de la mer (fig. 4). De nombreuses variables météorologiques seront disponibles au dessus de cette étendue plane, où semble-t-il, de fortes quantités d'ozone s'accumulent durant les épisodes de pollution. Le nord de la grille s'étend bien au-delà du parcours emprunté pendant les mesures itinérantes dans le but de prendre en considération les premiers contreforts du relief ; les contrastes thermiques terre-mer et vallée-versants pourraient favoriser ainsi la génération des brises.

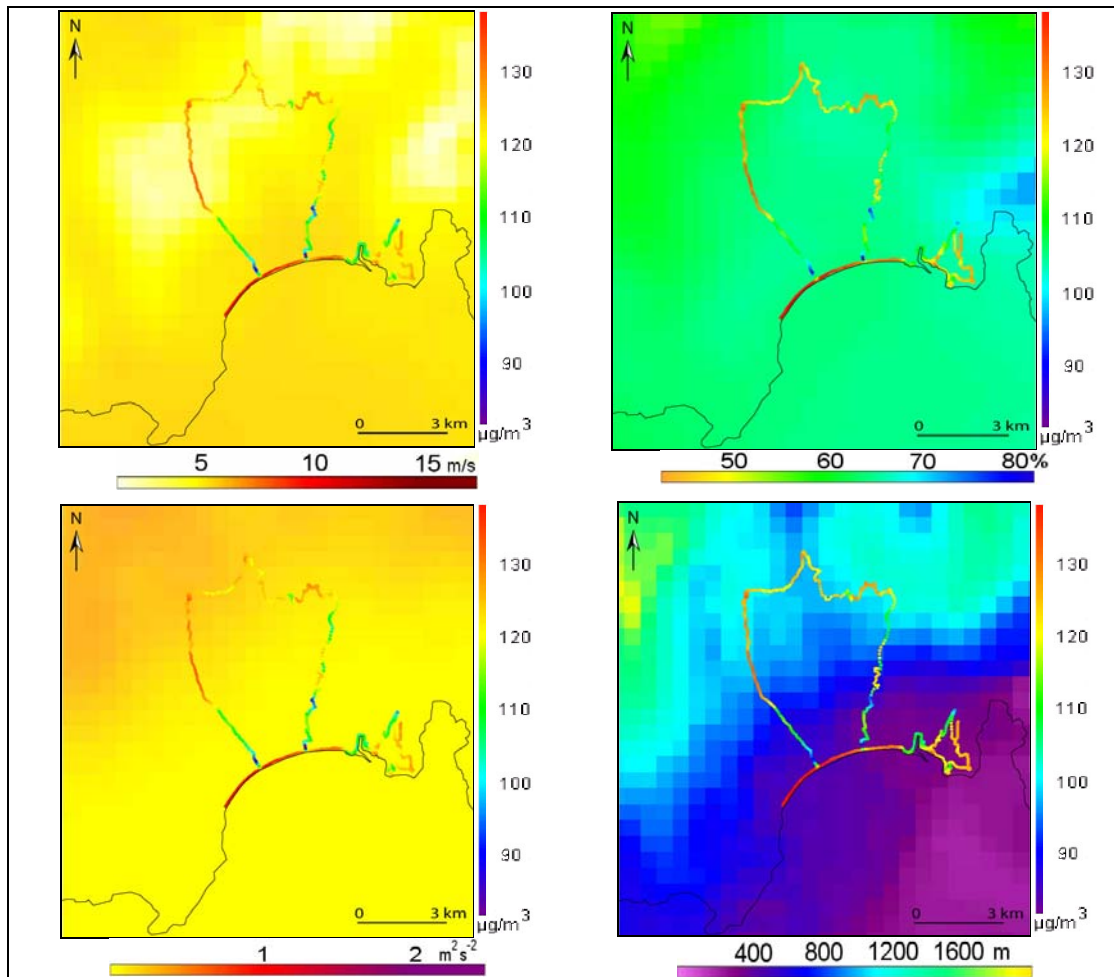


**Figure 4.** Grille en sortie de RAMS (à gauche) et M.N.T. centré sur l'itinéraire de mesures (à droite) de 500 m et de 20 m de résolutions respectives.

## 2.2. Variabilités spatiales moyennes des conditions météorologiques locales et de l'ozone.

Les liens éventuels entre les concentrations moyennes d'ozone, mesurées d'avril à septembre 2007 dans la commune de Nice et ses alentours, et les conditions locales moyennes du temps, simulées par le modèle RAMS, sont évalués en déterminant des coefficients de corrélation. La résolution spatiale des sorties numériques est de 500 m ; de plus un M.N.T. de 20 m de résolution est incorporé aux traitements exécutés sous S.I.G. Ce M.N.T. ne couvre pas l'ensemble du domaine de simulation de RAMS mais uniquement les environs immédiats de l'itinéraire de mesures (cf. figure. 4). Ce petit domaine est alors composé de 25 points en longitude sur 25 points en latitude. Le calcul des corrélations entre les variables météorologiques et l'altitude ne concerne donc que ces 625 points ; en outre les relations entre les concentrations d'ozone et les sorties numériques du temps reposent sur les points d'intersection entre le parcours de mesures et la grille du modèle (environ 80 points).

Les comportements moyens de la vitesse du vent, de l'humidité relative, de l'énergie cinétique turbulente et de la hauteur de la couche limite atmosphérique sont comparés à la configuration moyenne de l'ozone. Ces variables météorologiques ont été retenues car elles entretiennent les coefficients de corrélation les plus élevés dans le temps avec l'ozone. Un zoom est effectué sur la portion du domaine concerné par les mesures itinérantes pour mieux apprécier la comparaison (fig. 6). L'humidité relative varie faiblement dans l'espace entre 60% et 70%. Les vitesses de vent sont plus faibles sur les collines périurbaines de Nice que sur le littoral. L'énergie cinétique turbulente est au contraire plus élevée dans l'intérieur. Les hauteurs de couche limite proposent un comportement moyen marqué par de fortes disparités spatiales entre le sud et le nord du parcours de mesures: la faible épaisseur de cette couche sur la mer et le littoral contraste avec des valeurs doubles ou triples sur les collines au nord de Nice. Est-ce que les écarts d'ozone constatés entre la promenade des anglais et les espaces intérieurs auraient un lien avec l'aspect moyen de cette variable météorologique?



**Figure 6.** Aspects moyens de la vitesse du vent, de l'humidité relative, de l'énergie cinétique turbulente et de la hauteur de la couche limite atmosphérique à 15h TU (de gauche à droite et de haut en bas) simulées par RAMS, et configuration moyenne de l'ozone, durant 70 jours d'avril à septembre 2007 dans le sud des Alpes-Maritimes.

Seuls les points appartenant à la promenade des anglais, au vallon de la Madeleine, à Saint-Pancrace, au canal de Gairaut et au mont Boron (entourés en rouge sur la figure 3) sont croisés avec les simulations météorologiques. Les 765 points initiaux laissent leurs places aux 309 points des lieux précités. Pour rappel ces espaces, qui enregistrent les niveaux d'ozone les plus élevés de l'itinéraire de mesures, ne sont que très peu affectés par les polluants primaires émis par le trafic routier. L'ozone est corrélé négativement avec l'énergie cinétique turbulente (TKE), les hauteurs de couche limite (PBLH), l'humidité relative (HR) et les altitudes; l'intensité de ces corrélations est comprise entre -0,3 et -0,4 (tab. 1). Mais la variabilité spatiale de l'ozone est corrélée positivement avec les vitesses de vent (V);

un coefficient de 0,48 caractérise l'intensité de la relation; autrement dit plus la vitesse du vent augmente et plus les concentrations d'ozone sont fortes. Le sens de cette relation est inhabituel d'un point de vue temporel ; mais dans l'espace cela pourrait signifier que pour une part de destruction d'ozone par dépôt sec constante, moins les vitesses de vent des brises thermiques seraient élevées et moins l'apport d'ozone « nouveau » permettrait de combler le déficit engendré par le dépôt sec (Chang, 2003 ; Grøntoft, 2004). Ainsi lorsque les brises seraient trop faibles, l'érosion des concentrations d'ozone ne serait pas compensée et les valeurs chuteraient. Cette hypothèse pourrait expliquer les écarts d'ozone constatés en moyenne entre le littoral et l'intérieur. De plus les valeurs d'énergie cinétique turbulente et de hauteur de couche limite plus élevées dans l'intérieur favoriseraient une dilution verticale des concentrations d'ozone et provoqueraient donc mécaniquement des niveaux plus faibles que sur le littoral. La répartition moyenne de l'ozone dans l'espace étudié dépend donc en partie de la variabilité spatiale moyenne de la vitesse du vent, de l'énergie cinétique turbulente et de la hauteur de la couche limite. Bien que redondantes entre elles, ces variables paraissent toutes agir sur la diffusion horizontale et verticale de l'ozone.

Corrélations spatiales entre l'aspect moyen des variables météorologiques, l'altitude et les concentrations d'ozone moyennes enregistrées dans les espaces littoraux et intérieurs du parcours de mesures sur 70 jours d'avril à septembre 2007

Tableau 1

	TKE	V	PBLH	HR	Altitudes	O3
TKE	1	<b>-0,86</b>	<b>0,86</b>	-0,43	<b>0,94</b>	-0,39
V	<b>-0,86</b>	1	<b>-0,87</b>	0,23	<b>-0,90</b>	0,48
PBLH	<b>0,86</b>	<b>-0,87</b>	1	-0,33	<b>0,85</b>	-0,30
HR	-0,43	0,23	-0,33	1	-0,44	-0,39
Altitudes	<b>0,94</b>	<b>-0,90</b>	<b>0,85</b>	-0,44	1	-0,37
O3	-0,39	0,48	-0,30	-0,39	-0,37	1

## Conclusion

La volonté d'identifier les causes puis d'expliquer la variabilité spatiale de l'ozone à fine échelle se heurte à la grande complexité des mécanismes physiques et chimiques régissant ce polluant atmosphérique. La configuration spatiale moyenne de l'ozone calculée à l'issue des mesures terrain au cours de la saison photochimique 2007 à Nice a permis de représenter la grande variabilité de ce gaz dans l'espace: le littoral est plus touché par l'ozone que les collines périurbaines; or le recours à un modèle de simulation météorologique rend disponible, à fine échelle spatiale également, des informations sur l'état de différentes variables atmosphériques. En croisant ces deux bases de données les disparités spatiales entre le littoral et les espaces périurbains intérieurs trouvent des hypothèses explicatives; cependant l'intensité des relations spatiales n'est pas suffisamment forte pour considérer que le phénomène est appréhendé et compris dans sa globalité.

## Bibliographie

- Chang W., Heikes B. G. and Lee M., 2004: Ozone deposition to the sea surface: chemical enhancement and wind speed dependence, *Atmospheric Environment*, **38**, pp. 1053-1059.
- Grøntoft T., Henriksen J. F. and Seip H. M., 2004: The humidity dependence of ozone deposition onto a variety of building surfaces, *Atmospheric Environment*, **38**, pp. 59-68.
- Martin N., 2008 : *La pollution par l'ozone et la climatologie dans un espace méditerranéen : les Alpes-Maritimes*, thèse de doctorat, 281 p.
- Martin N., Carrega P., 2008 : La variabilité spatiale de l'ozone en milieu urbain et périurbain : le cas de Nice, *Actes de la 5ème édition des JIQA*, Lille, janvier 2008
- Martin N., Carrega P., 2007 : Etude de la pollution par l'ozone à échelle fine : premières mesures itinérantes dans les Alpes-Maritimes, *Actes du XXème colloque AIC*, Tunis septembre 2007, pp 363-368
- Millan M. M., Salvador R., Mantilla E., Artinano B., 1996: Meteorology and photochemical air pollution in southern Europe: experimental results from EC research projects. *Atmospheric Environment*, **30**, pp. 1909-1924
- Millan M. M., Mantilla E., Salvador R., Carratala A. and Sanz M-J., 2000: Ozone cycles in the western Mediterranean basin: interpretation of monitoring data in complex coastal terrain, *Journal of Applied Meteorology*, **39**, pp. 487-508